

Attorney's Docket No. 46190.268023

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Inventor: Viktorovitch et al.

Confirmation No.: 1992

Appl. No.: 10/635,713

Filed: August 5, 2003

For: OPTOELECTRONIC DEVICE WITH WAVELENGTH FILTERING BY  
CAVITY COUPLING

Mail Stop Missing Parts  
Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

### SUBMITTAL OF PRIORITY DOCUMENT

To complete the requirements of 35 U.S.C. § 119, enclosed is a certified copy of French priority Application No. 01/01520, filed May 2, 2001.

Respectfully submitted,

Andrew T. Meunier  
Registration No. 40,726

**Customer No. 00826**  
**Alston & Bird LLP**  
Bank of America Plaza  
101 South Tryon Street, Suite 4000  
Charlotte, NC 28280-4000  
Tel Atlanta Office (404) 881-7000  
Fax Atlanta Office (404) 881-7777

"Express Mail" mailing label number EV 355 445 577 US  
Date of Deposit January 5, 2004

I hereby certify that this paper or fee is being deposited with the United States Postal Service "Express Mail Post Office to Addressee" service under 37 CFR 1.10 on the date indicated above and is addressed to:  
Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450

  
Laisha Richardson





# BREVET D'INVENTION

## CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

### COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 13 OCT. 2003

Pour le Directeur général de l'Institut  
national de la propriété industrielle  
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE

SIEGE  
26 bis, rue de Saint Petersburg  
75800 PARIS cedex 08  
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04  
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23  
[www.inpi.fr](http://www.inpi.fr)





26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08  
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 94 86 54

# BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 1/2

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 540 W / 260899

REMISE DES PIÈCES DATE <b>05 FEV 2001</b> LIEU <b>75 INPI PARIS</b> N° D'ENREGISTREMENT <b>0101520</b> NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE PAR L'INPI <b>05 FEV. 2001</b>		<b>1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE</b> ERNEST GUTMANN-YVES PLASSERAUD S.A. 3 rue Chauveau-Lagarde 75008 PARIS	
<b>V s références pour ce dossier (facultatif) B4755-LBi</b>			
<b>Confirmation d'un dépôt par télécopie</b> <input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie			
<b>2 NATURE DE LA DEMANDE</b>		<b>Cochez l'une des 4 cases suivantes</b>	
Demande de brevet		<input checked="" type="checkbox"/>	
Demande de certificat d'utilité		<input type="checkbox"/>	
Demande divisionnaire		<input type="checkbox"/>	
Demande de brevet initiale ou demande de certificat d'utilité initiale		N°	Date <input type="text"/>
		N°	Date <input type="text"/>
Transformation d'une demande de brevet européen Demande de brevet initiale		<input type="checkbox"/>	Date <input type="text"/>
		N°	Date <input type="text"/>
<b>3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)</b> DISPOSITIF OPTOELECTRONIQUE A FILTRAGE DE LONGUEUR D'ONDE PAR COUPLAGE DE CAVITES.			
<b>4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE</b>		Pays ou organisation Date <input type="text"/> N° Pays ou organisation Date <input type="text"/> N° Pays ou organisation Date <input type="text"/> N° <input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
<b>5 DEMANDEUR</b>		<input checked="" type="checkbox"/> S'il y a d'autres demandeurs, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
Nom ou dénomination sociale		CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE	
Prénoms			
Forme juridique		Etablissement public national à caractère scientifique et technologique	
N° SIREN			
Code APE-NAF			
Adresse	Rue	3 rue Michel-Ange	
	Code postal et ville	75794	PARIS
Pays		FRANCE	
Nationalité		Française	
N° de téléphone (facultatif)			
N° de télécopie (facultatif)			
Adresse électronique (facultatif)			



# BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 2/2

REMISE DES PIÈCES DATE <b>5 FEV 2001</b> LIEU <b>75 INPI PARIS</b> N° D'ENREGISTREMENT <b>0101520</b> NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI		Réservé à l'INPI	
<b>V s références pour ce dossier :</b> <i>(facultatif)</i>		B4755-LBi	
<b>6 MANDATAIRE</b>			
Nom		DESAIX	
Prénom		Anne	
Cabinet ou Société		ERNEST GUTMANN-YVES PLASSERAUD S.A.	
N° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel			
Adresse	Rue	3 rue Chauveau-Lagarde	
	Code postal et ville	75008	PARIS
N° de téléphone <i>(facultatif)</i>		01 44 51 18 00	
N° de télécopie <i>(facultatif)</i>		01 42 66 08 90	
Adresse électronique <i>(facultatif)</i>		info@egyp.fr	
<b>7 INVENTEUR (S)</b>			
Les inventeurs sont les demandeurs		<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non Dans ce cas fournir une désignation d'inventeur(s) séparée	
<b>8 RAPPORT DE RECHERCHE</b>		Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation)	
Établissement immédiat ou établissement différé		<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Paiement échelonné de la redevance		Paiement en trois versements, uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
<b>9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES</b>		Uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention <i>(joindre un avis de non-imposition)</i> <input type="checkbox"/> Requête antérieurement à ce dépôt <i>(joindre une copie de la décision d'admission pour cette invention ou indiquer sa référence):</i>	
Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes		1	
<b>10 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE</b> (Nom et qualité du signataire) DESAIX Anne CPI N° 93.3006		VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI  L. GUICHET	

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés s'applique aux réponses faites à ce formulaire. Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI.



26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08  
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 94 86 54

# BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



N° 11354\*01

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE

Page suite N° 1.../1...

REMISE DES PIÈCES DATE <b>5 FEV 2001</b> LIEU <b>75 INPI PARIS</b>		Réservé à l'INPI	
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI		<b>0101520</b>	
Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire			
<b>Vos références pour ce dossier (facultatif)</b>		B4755-LBi	
<input checked="" type="checkbox"/> <b>DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE</b>		Pays ou organisation Date <input type="text"/> / <input type="text"/> / <input type="text"/> N° <input type="text"/>	
		Pays ou organisation Date <input type="text"/> / <input type="text"/> / <input type="text"/> N° <input type="text"/>	
		Pays ou organisation Date <input type="text"/> / <input type="text"/> / <input type="text"/> N° <input type="text"/>	
<input checked="" type="checkbox"/> <b>DEMANDEUR</b>			
Nom ou dénomination sociale		ECOLE CENTRALE DE LYON	
Prénoms			
Forme juridique		Etablissement Public à Caractère Scientifique, Culturel et Professionnel	
N° SIREN			
Code APE-NAF			
Adresse	Rue	36 avenue Guy de Collongue B.P. 163	
	Code postal et ville	69131 ECULLY CEDEX	
Pays		FRANCE	
Nationalité		Française	
N° de téléphone (facultatif)			
N° de télécopie (facultatif)			
Adresse électronique (facultatif)			
<input checked="" type="checkbox"/> <b>DEMANDEUR</b>			
Nom ou dénomination sociale			
Prénoms			
Forme juridique			
N° SIREN			
Code APE-NAF			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Pays			
Nationalité			
N° de téléphone (facultatif)			
N° de télécopie (facultatif)			
Adresse électronique (facultatif)			
<input checked="" type="checkbox"/> <b>SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)</b> DESAIX Anne CPI N° 93.3006		<b>VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI</b> 	

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés s'applique aux réponses faites à ce formulaire.  
Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI

## DISPOSITIF OPTOELECTRONIQUE A FILTRAGE DE LONGUEUR D'ONDE PAR COUPLAGE DE CAVITES

L'invention concerne le domaine du filtrage optique sélectif par modulation électrique de la fonction de transfert spectrale.

Elle concerne plus particulièrement, bien que de façon non exclusive, les dispositifs optoélectroniques de filtrage, accordables électriquement, destinés au démultiplexage en longueur d'onde des canaux de certaines installations de télécommunication par voie optique, et notamment les installations utilisant des systèmes de multiplexage connus sous les acronymes anglais WDM (pour Wavelength Division Multiplexing) et DWDM (pour Dense Wavelength Division Multiplexing).

Pour assurer ce type de démultiplexage, il a été proposé des filtres de type Fabry-Pérot comportant une cavité résonante d'air, placée entre des réflecteurs partiels. L'accordabilité en longueur d'onde de ces filtres est obtenue par déplacement de l'un au moins des réflecteurs partiels, monté de façon élastique, sous l'effet d'une pression électrostatique.

Des dispositifs de ce type sont décrits, notamment, dans les articles scientifiques mentionnés ci-après :

- M.S.Wu, G.S.Yuen et C.J. Chang-Hasnain, « Widely tunable 1.5  $\mu\text{m}$  micromechanical optical filter using  $\text{AlOx}/\text{AlGaAs}$  DBR », Electronics Letters 33, 1702 (1997) ;
- P.Tayebati, P.Wang, D.Vakhshoori et R.N.Sacks, « Microélectromechanical tunable filters with 0.47 nm linewidth and 70 nm tuning range », Electronics Letters 34, 76 (1998), et « Widely tunable Fabry-Perot filter using  $\text{Ga}(\text{Al})\text{As}-\text{AlOx}$  deformable mirrors », IEEE Photonics Technology Letters 10, 394 (1998) ;
- P.Tayebati, P.Wang, M.Azimi, L.Maflah, D.Vahshoori, « Microelectromechanical tunable filters with stable half symmetric cavity », Electronics Letters 34, 1967 (1998) ;



- A.Spisser, R.Ledantec, C.Seassal, J.L.Leclercq, T.Benyattou, D.Rondi, R.Blondeau, G.Guillot et P.Viktorovitch, « Highly selective 1.55  $\mu\text{m}$  InP/Air-gap micromachined Fabry-Perot Filter For Optical Communications », Electronics Letters 34, 453 (1998) ;
- 5 - A.Spisser, R.Ledantec, C.Seassal, J.L.Leclercq, T.Benyattou, D.Rondi, R.Blondeau, G.Guillot et P.Viktorovitch, « Highly selective and widely tunable 1.55  $\mu\text{m}$  InP/Air-gap micromachined Fabry-Perot Filter For Optical Communications », IEEE Photonics Technology Letters, 10 (9), 1259 (1998).

10 Ces dispositifs à une seule cavité résonnante ne peuvent cependant pas offrir simultanément, pour des raisons théoriques, une séparation convenable entre canaux adjacents (typiquement supérieure à -20 dB) et une bande passante utile suffisante à la transmission, sans atténuation, d'une modulation rapide du signal lumineux (typiquement supérieure à 10  
15 GHz).

On sait que des filtres convenables, c'est à dire possédant une bande passante plus "rectangulaire" sont obtenus en utilisant plusieurs cavité Fabry-Pérot couplées entre elles. Un filtre à deux cavités couplées permet par exemple de répondre aux spécifications des systèmes DWM  
20 actuels pour une longueur d'onde fixée. Des solutions ont déjà été proposées pour réaliser l'accordabilité de filtres à deux cavités couplées.

Ainsi, le document US 5,103,340 propose de coupler deux cavités d'air résonantes, dites « épaisses », du fait qu'elles présentent des épaisseurs optiques de  $m\lambda/2$  et  $n\lambda/2$ , m et n étant des entiers de valeurs  
25 voisines de 100 et suffisamment proches pour présenter des longueurs d'onde de résonance communes, espacées. L'épaisseur des cavités est ici contrôlée par un actionneur piézo-électrique commun, disposé de sorte que les déplacements des deux cavités soient proportionnels aux entiers m et n. L'encombrement de ces dispositifs est un obstacle à la haute intégration. De  
30 plus, ces dispositifs requièrent des tensions de commande élevées,

typiquement de l'ordre de quelques centaines de volts, qui rendent leur utilisation difficile, voire impossible, dans des environnements où les niveaux de consommation d'énergie sont réduits.

L'invention a pour but de remédier à tout ou partie des inconvénients  
5 précités.

Elle propose à cet effet un dispositif optoélectronique comprenant i) des premiers moyens qui définissent une première cavité résonante (épaisse) dont l'épaisseur et la composition sont choisies pour offrir une multiplicité de modes résonants de transmission dans une plage de  
10 longueurs d'onde choisie, ii) des seconds moyens qui définissent une seconde cavité résonante (mince) dont l'épaisseur et la composition sont choisies pour offrir un unique mode résonant de transmission dans la plage de longueurs d'onde choisie, iii) des moyens de couplage optique entre les premiers et seconds moyens, et iv) des moyens électrostatiques capables  
15 d'appliquer aux seconds moyens une tension électrique permettant de faire varier l'épaisseur de la seconde cavité et la position spectrale du mode résonant associé de sorte que ce mode vienne coïncider avec l'un quelconque des modes résonants de la première cavité (choisi parmi tous ceux qu'elle présente). Le dispositif peut ainsi transmettre une onde  
20 lumineuse incidente dont la longueur d'onde est celle du mode résonant commun aux cavités mince et épaisse.

On entend ici par « moyens de couplage optique », tout ce qui permet une interaction optique entre les cavités mince et épaisse. Par ailleurs, on entend par « l'un quelconque » le fait de sélectionner en fonction  
25 des besoins un mode ou un autre de la première cavité par un contrôle de l'épaisseur de la seconde cavité. En d'autres termes, n'importe lequel des modes de la première cavité peut être choisi selon les besoins.

De la sorte, les deux cavités mince et épaisse couplées réalisent un filtre dont la longueur d'onde de transmission peut être réglée de façon  
30 discontinue sur chacune (ou au moins un certain nombre) des longueurs

d'onde des différents modes de transmission de la cavité épaisse. La caractéristique spectrale de la fonction de transmission ainsi réalisée est celle d'un filtre à deux cavités couplées, et présente donc des caractéristiques de réjection et de bande passante très supérieures à celles d'un filtre à une seule cavité.

Dans un mode de réalisation avantageux, l'épaisseur et la composition de la première cavité (épaisse) sont choisies de sorte que la multiplicité de ses modes résonants de transmission définisse un peigne dont la position des modes et la distance entre modes voisins (ou pas inter-modes) sont choisies de manière à coïncider respectivement avec la position et la distance des longueurs d'onde du signal lumineux que l'on veut démultiplexer, telles qu'elles sont définies par les normes internationales (telles que l'ITU).

Préférentiellement, les premiers moyens qui définissent la première cavité (épaisse) comprennent deux réflecteurs partiels, sensiblement parallèles, espacés l'un de l'autre par une première couche de matière (de préférence semi-conductrice) dont l'épaisseur fixe la position des modes résonants de la première cavité, et qui assurent la résonance de cette première cavité.

Egalement de préférence, les seconds moyens qui définissent la seconde cavité (mince) comprennent au moins deux réflecteurs partiels, sensiblement parallèles, espacés l'un de l'autre par une seconde couche de matière (de préférence une lame d'air) dont l'épaisseur définit la position du mode résonant de la seconde cavité, et qui assurent la résonance de cette seconde cavité.

Selon une autre caractéristique de l'invention, les moyens électrostatiques sont réalisés en connectant électriquement chacun des deux miroirs partiels des seconds moyens à une première et une deuxième électrodes de telle sorte que lorsqu'une différence de potentiel est appliquée entre lesdites première et seconde électrodes, l'épaisseur de la cavité d'air

située entre les deux réflecteurs (ou miroirs) partiels change. Dans un mode de réalisation, particulier, les seconds moyens sont configurés de manière à définir au moins une sous-structure de type jonction PIN ou NIP. Dans ce cas, la jonction PIN, respectivement NIP, est polarisée en inverse par les  
5    moyens électrostatiques.

Avantageusement, les réflecteurs partiels sont des réflecteurs de Bragg constitués d'au moins une alternance de type quart d'onde de deux matériaux d'indices de réfraction différents. Ces alternances peuvent concerner par exemple des couches de Silicium et de Dioxyde de Silicium  
10    et/ou des couches d'air et de semi-conducteur (comme décrit dans les articles de Spisser et al cités dans l'introduction).

Avantageusement, les premiers et second moyens sont composés de matériaux semi-conducteurs, et préférentiellement des matériaux de type III-V, tels que l'arséniure de gallium (GaAs), l'InGaAs, ou le phosphore d'indium (InP). Cela permet d'utiliser des techniques d'épitaxie et d'attaque  
15    chimique sélective, notamment lorsque la seconde cavité (mince) est une lame (ou couche) d'air et/ou que les réflecteurs qui l'entourent sont des réflecteurs de type Bragg formés par des alternances de couches semi-conductrices et d'air (éventuellement remplacé par un autre matériau fluide,  
20    gaz, liquide ou polymère).

Dans un mode de réalisation avantageux, les moyens de couplage des cavités mince et épaisse sont des troisièmes moyens (par exemple une couche de matière ou une lame d'air) interposés entre les premiers et les seconds moyens (et notamment entre deux réflecteurs) et présentant des  
25    dimensions choisies de manière à assurer un couplage optique optimal entre les première et seconde cavités. Suivant les principes de réalisation des filtres à cavité Fabry-Pérot bien connus de l'homme de l'art, (voir par exemple H. A. Macleod, Thin-film optical filters. New York: McGraw-Hill, 1986), les moyens de couplage peuvent être constitués par exemple d'une couche de  
30    type quart d'onde.

Le dispositif peut également comprendre des moyens permettant de décaler la fréquence de la multiplicité des modes résonants de transmission des premiers moyens. De préférence, le décalage de fréquence est obtenu par une variation contrôlée de la température des premiers moyens (au moins).

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à l'examen de la description détaillée ci-après, et des dessins annexés, sur lesquels :

- la figure 1 est une vue schématique en coupe transversale d'un premier mode de réalisation d'un dispositif de filtrage selon l'invention,
- la figure 2 est une vue schématique en coupe transversale d'un second mode de réalisation d'un dispositif de filtrage selon l'invention,
- la figure 3 est une représentation graphique de la fonction de transfert (transmittance) du dispositif de la figure 2, en fonction de la longueur d'onde,
- la figure 4 est une représentation graphique de la fonction de transfert (transmittance) du dispositif de la figure 2 après réduction de l'épaisseur de sa cavité mince, en fonction de la longueur d'onde, et
- la figure 5 est une représentation graphique de la bande passante du dispositif de la figure 2.

Les dessins annexés sont, pour l'essentiel, de caractère certain. En conséquence, ils pourront non seulement servir à compléter l'invention, mais aussi contribuer à sa définition, le cas échéant.

On se réfère tout d'abord à la figure 1 pour décrire un premier mode de réalisation d'un dispositif de filtrage selon l'invention, destiné au traitement optique d'une lumière externe.

Dans l'exemple illustré, le dispositif comporte une première cavité résonante épaisse 1, réalisée sous la forme d'une couche de matière, de préférence semi-conductrice. Cette couche, qui définit la première cavité

résonante 1, comporte deux faces d'extrémité, sensiblement parallèles, que l'on qualifiera ici de « face supérieure » 2 et « face inférieure » 3. La face supérieure 2 est solidarisée à un réflecteur (ou miroir) partiel 4, que l'on qualifiera de « miroir supérieur », tandis que la face inférieure 3 est solidarisée à un réflecteur (ou miroir) partiel 5, que l'on qualifiera de « miroir inférieur ».

Ces deux miroirs supérieur 4 et inférieur 5 sont dits partiels car ils permettent l'obtention de modes résonants de transmission dans la première cavité épaisse 1.

La première cavité 1 est dite « épaisse » car elle présente une multiplicité de modes résonants de transmission espacés régulièrement les uns des autres en définissant un peigne de pas inter-modes constant:

Le nombre de modes résonants de transmission, ainsi que le pas entre ces modes dépend directement de l'épaisseur de la première cavité 1 et du matériau qui la forme.

Dans une cavité résonante épaisse, le pas fréquentiel  $\Delta f$  est relié à la vitesse de la lumière dans le vide ( $c$ ) et à l'épaisseur optique ( $x$ ) de la cavité épaisse par la relation :  $\Delta f = c/2x$ .

Ainsi, si l'on souhaite obtenir un pas inter-modes de 200 GHz, il faut prévoir une cavité épaisse dont l'épaisseur optique  $x$  est de 750 micromètres ( $\mu m$ ) dans le vide ( $x = c/2 \cdot 200 \cdot 10^9$ ).

Par exemple, si la première cavité épaisse 1 est réalisée dans une couche semi-conductrice telle que le phosphore d'indium (InP), dont l'indice de réfraction est de l'ordre de 3,15 autour d'une longueur d'onde de 1,5  $\mu m$ , l'épaisseur effective de la cavité doit donc être égale à 238  $\mu m$  ( $750 / 3,15$ ). Une telle épaisseur correspond avantageusement à l'épaisseur normale d'un substrat semi-conducteur tel qu'on peut le trouver dans le commerce.

Le dispositif selon l'invention comporte également une seconde cavité résonante 6, mince (ou fine), encadrée par deux réflecteurs (ou miroirs) partiels que l'on qualifiera ici de « miroir supérieur » 7 et de « miroir

inférieur » 8.

Dans l'exemple illustré sur la figure 1, la seconde cavité 6 est de préférence évidée et remplie d'une lame (ou couche) d'air. L'épaisseur de la seconde cavité mince 6 est fixée par l'épaisseur d'espaceurs 9 interposés entre les miroirs supérieur 7 et inférieur 8. L'épaisseur de la lame d'air est égale à  $k\lambda/2$ ,  $k$  étant de préférence un entier égal à un, deux ou trois, et  $\lambda$  étant la longueur d'onde centrale souhaitée du mode résonant de transmission de cette cavité mince.

La lame d'air pourrait être remplacée par une lame de tout autre matériau de propriétés mécaniques aptes à supporter une déformation importante sans introduire de contraintes sensibles (vide partiel, matériaux gazeux, liquide ou gélifié, par exemple).

Les miroirs partiels 7 et 8 qui encadrent la seconde cavité 6, ainsi que les espaceurs 9, sont de préférence réalisés à partir de matériaux semi-conducteurs. Du fait que le miroir supérieur 7 est placé au-dessus d'une cavité évidée, il constitue une lame dite « suspendue ».

Comme on le verra plus loin, la partie évidée qui reçoit la lame d'air 6 est préférentiellement réalisée à l'aide d'un procédé de micro-usinage de surface permettant d'éliminer sélectivement une couche sacrificielle solide séparant les miroirs supérieur 7 et inférieur 8 et qui constitue en fin de procédé les espaceurs 9.

La seconde cavité 6 est dite « mince » car elle ne possède qu'un unique mode résonant de transmission, bien entendu choisi dans l'intervalle des longueurs d'onde de travail (lumière incidente).

Pour que le dispositif de filtrage selon l'invention puisse, sur commande, transmettre une onde lumineuse incidente dont la longueur d'onde correspond à l'un des modes résonants du peigne de la première cavité 1, il faut que la longueur d'onde du mode résonant de transmission de la seconde cavité mince 6 coïncide avec ledit mode résonant dudit peigne. Pour obtenir cette coïncidence sur l'un quelconque des modes du peigne, on

ajuste électriquement l'épaisseur de la seconde cavité mince 6, à l'aide d'électrodes ou contacts ohmiques (non représentés) placés en des endroits choisis du dispositif. Ces contacts ohmiques sont de préférence réalisés en alliage de type AuGe, ou bien Pd-AuGe, ou encore Ti-Pt-Au. Ils sont destinés à provoquer une différence de potentiel entre les miroirs supérieur 7 et inférieur 8 qui encadrent la seconde cavité 6. Ils sont par conséquent placés au contact des couches qui forment les miroirs 7 et 8 ou bien des couches (7 et 5) placées aux deux extrémités du dispositif ou bien sur chaque couche, ou bien encore sur les couches d'extrémité et sur certaines couches intermédiaires.

Cette différence de potentiel choisie, entre le miroir supérieur 7 (suspendu) et le miroir inférieur 8, induit une pression électrostatique qui déplace ledit miroir supérieur 7 relativement au miroir inférieur 8, occasionnant ainsi une variation d'épaisseur de la seconde cavité 6 et par conséquent une variation de la longueur d'onde de son mode résonant de transmission initial.

Bien entendu, pour obtenir ce déplacement relatif de l'un des miroirs par rapport à l'autre, il est important que le miroir suspendu que l'on déplace soit monté de façon élastique. On reviendra plus loin sur les techniques utilisées pour parvenir à ce résultat.

Comme mentionné ci-avant, les valeurs des polarisations des miroirs 7 et 8 vont définir, à un instant donné, la longueur d'onde qui va pouvoir être transmise par le dispositif de filtrage (et qui coïncide avec l'un des modes résonants de transmission de la première cavité résonante 1).

Les deux cavités 1, 6 couplées réalisent ainsi un filtre accordable dont la longueur d'onde de transmission peut être réglée de manière discontinue sur chacune, ou au moins certaines, des longueurs d'onde des modes résonants de transmission fixés par la construction de la première cavité résonante épaisse 1.

Lorsque les matériaux qui constituent les miroirs 7 et 8 et les



espaceurs 9 sont des semi-conducteurs, la déformation élastique d'une lame suspendue (ou couche) peut être obtenue en présence d'au moins une sous-structure de type jonction PIN ou NIP dans le dispositif, notamment pour délimiter la seconde cavité résonante 6. Il en résulte, par conséquent, que les différentes couches semi-conductrices (et espaceurs), qui constituent dans l'exemple les miroirs partiels 7 et 8, doivent présenter des dopages particuliers de sorte que la sous-structure agisse comme une jonction PIN ou NIP, bien connue de l'homme du métier.

Lorsque le dispositif selon l'invention n'assure qu'une fonction de filtrage, une unique sous-structure de type PIN ou NIP, encadrant la seconde cavité 6, est nécessaire. Dans ce cas, tous les composants du miroir partiel supérieur 7 sont dopés de type P ou N, tandis que tous les constituants du miroir partiel inférieur 8 sont dopés de type N ou P, selon que la sous-structure est de type PIN ou NIP, et les espaceurs 9 sont constitués dans des matériaux semi-conducteurs non intentionnellement dopés, c'est-à-dire de type I. En l'absence de polarisation, le miroir partiel supérieur 7 est dans une position de repos (ou d'équilibre). En revanche, lorsque la jonction PIN, (constituée par les miroirs supérieur 7 et inférieur 8) est polarisée en inverse, le miroir supérieur 7 est attiré par le miroir inférieur 8 sur une distance choisie, dépendante des potentiels appliqués aux couches et des caractéristiques des cavités.

Les miroirs partiels de la première cavité épaisse 1 et de la seconde cavité mince 6 peuvent être de types identiques ou différents. Ils sont néanmoins préférentiellement réalisés sous la forme de réflecteur (ou miroirs) de Bragg constitués d'alternance(s) quart d'onde de couches de type couche de silicium (Si) et couche de dioxyde de silicium (SiO<sub>2</sub>), ou couche de matériau semi-conducteur (par exemple InP) et couche (ou lame) d'air, ou d'alternances de couches de deux semi-conducteurs différents présentant des différences d'indice suffisants.

Le dispositif de filtrage selon l'invention peut, comme illustré sur la figure 1, comporter une couche de couplage 10 destinée à assurer le

couplage optique entre les première 1 et seconde 6 cavités résonantes. Préférentiellement, cette couche de couplage 10 est placée entre le miroir inférieur 8 de la seconde cavité mince 6 et le miroir supérieur 4 de la première cavité épaisse 1. Sa fonction est d'assurer un couplage optique tel que les deux cavités interagissent de manière à présenter la caractéristique spectrale souhaitée. Suivant les principes connus de l'homme de l'art, l'épaisseur optique de cette couche 10 peut être égale à un multiple impair d'un quart de la longueur d'onde de travail. Elle est constituée préférentiellement d'un des matériaux constituant les miroirs 4 ou 8 ou d'une alternance de ces matériaux.

Pour réaliser un dispositif du type de celui illustré sur la figure 1, différentes techniques de dépôt ou d'épitaxie peuvent être envisagées, dès lors qu'elles permettent un contrôle convenable des épaisseurs des couches. On citera à titre d'exemple l'épitaxie par jet moléculaire (plus connu sous l'acronyme anglais MBE pour "Molecular Beam Epitaxy"), ou le dépôt chimique en phase vapeur d'organo-métalliques à basse pression (plus connus sous l'acronyme anglais LP-MOCVD pour "Low Pressure Metal Organic Chemical Vapor Deposition"), ou encore l'épitaxie par jet chimique sous pression (plus connue sous l'acronyme anglais CBE pour "Chemical Beam Epitaxy").

De telles techniques permettent un contrôle extrêmement précis des épaisseurs et de surcroît assurent d'excellentes qualités cristallines ainsi que des interfaces très abruptes. De plus, elles offrent un contrôle de la composition et du dopage d'une très grande précision. Enfin, elles permettent un excellent contrôle des contraintes mécaniques résiduelles.

A l'une des techniques d'épitaxie doit être associée une technique de gravure chimique pour supprimer une partie des couches sacrificielles qui seront remplacées par des lames d'air. Pour ce faire, il existe de nombreuses techniques de gravure chimique, notamment par voie humide. Elles permettent en effet un micro-usinage sélectif des parties suspendues (lame ou couche). On citera à titre d'exemple les techniques de gravure par

voie humide de type  $\text{FeCl}_3:\text{H}_2\text{O}$  ou  $\text{HF}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}$  pour le système  $\text{InGaAs}/\text{InP}$ , ou bien de type  $\text{HCl}:\text{H}_2\text{O}$  ou  $\text{HCl}:\text{H}_3\text{PO}_4$  pour les systèmes  $\text{InAlAs}/\text{InGaAlAs}$  et  $\text{GaInP}/\text{GaAs}$ , ou encore de type  $\text{HF}$  pour le système  $\text{AlAs}/\text{GaAs}$ .

5 On se réfère maintenant à la figure 2 pour décrire un second mode de réalisation d'un dispositif de filtrage selon l'invention.

Tout comme pour le premier mode de réalisation illustré sur la figure 1, le dispositif illustré sur la figure 2 comporte une première cavité épaisse 11 couplée à une seconde cavité mince 17. La première cavité épaisse 11 est  
10 ici constituée d'une couche de matière encadrée par un réflecteur (ou miroir) partiel supérieur 12 et un réflecteur (ou miroir) partiel inférieur 13.

Sur les figures 1 et 2, les échelles utilisées pour matérialiser les dimensions verticale et horizontale des différentes couches ne sont pas les mêmes.

15 Dans l'exemple illustré, le miroir inférieur 13 est constitué d'une alternance de couches de type silicium/dioxyde de silicium ( $\text{Si}/\text{SiO}_2$ ), formant un miroir de Bragg inférieur, tandis que le miroir supérieur 12 est constitué d'une alternance (au moins) d'une couche 14, de préférence semi-conductrice, et d'une couche (ou lame) d'air 15, formant également un  
20 réflecteur (ou miroir) de Bragg. L'épaisseur de la couche d'air 15 est fixée par l'épaisseur d'espaceurs 16, préférentiellement réalisés dans un matériau semi-conducteur et permettant la solidarisation de la couche définissant la première cavité épaisse 11 à la couche semi-conductrice 14 du miroir supérieur 12.

25 La seconde cavité résonante mince 17 est, dans cet exemple, constituée d'une couche (ou lame) d'air, encadrée par un miroir partiel supérieur 18 et un miroir partiel inférieur 19, solidarisés par l'intermédiaire d'espaceurs 37. L'épaisseur des espaceurs 37 fixe donc l'épaisseur optique de la seconde cavité 17, soit  $k\lambda/2$ .

30 Le miroir partiel supérieur 18 est ici constitué sous la forme d'un

réflecteur (ou miroir) de Bragg comportant des alternances de couches, de préférence semi-conductrices, et de couches d'air. Plus précisément, dans l'exemple illustré, le miroir partiel supérieur 18 comporte quatre couches semi-conductrices 20-24 séparées les unes des autres par trois couches d'air 25-27, les épaisseurs des couches d'air étant fixées par les épaisseurs respectives d'espaceurs 28, également réalisés dans un matériau semi-conducteur, de préférence.

Bien entendu, le nombre de couches semi-conductrices et de couches d'air constituant le miroir partiel supérieur 18 peut être différent de celui mentionné ci-dessus. Par ailleurs, les couches d'air peuvent être remplacées par tout autre matériau de propriétés mécaniques aptes à supporter une déformation importante sans introduire de contraintes sensibles (matériaux gazeux, liquide ou gélifié, par exemple).

Dans l'exemple illustré sur la figure 2, le miroir inférieur 19 de la seconde cavité 17 est sensiblement identique au miroir supérieur 18 de cette même cavité. Il comporte par conséquent quatre couches, de préférence semi-conductrices, 29-32 espacées les unes des autres par trois couches (ou lames) d'air 33-35, par l'intermédiaire d'espaceurs 36, également réalisés dans un matériau semi-conducteur, de préférence.

L'épaisseur et la composition des différentes couches semi-conductrices (20-24, 29-32 et 14) et des différentes couches d'air (25-27, 33-35 et 15) des miroirs de Bragg sont choisies de manière à assurer des propriétés optiques adaptées pour la structure résonante, ainsi que des propriétés mécaniques optimales pour les couches semi-conductrices qui constituent des lames suspendues, soumises aux pressions électrostatiques par les contacts ohmiques décrits précédemment.

Plus précisément, les couches semi-conductrices (20-24, 29-32 et 14) des miroirs de Bragg ont une épaisseur optique égale à  $(2k+1)\lambda/4$ , avec une constante  $k$  de valeur entière, choisie en fonction de la rigidité requise. Les couches d'air (25-27, 33-35 et 15) ont une épaisseur optique égale à

$(2k+1)\lambda/4$ .

Préférentiellement, et comme illustré sur la figure 2, le couplage entre la première cavité épaisse 11 et la seconde cavité mince 17 est réalisé à l'aide d'une couche intermédiaire 38, ici réalisée sous la forme d'une  
5 couche (ou lame) d'air. Par conséquent, dans cet exemple, la lame semi-conductrice d'extrémité 32 du miroir inférieur 19 est solidarisée à la couche 14 du miroir supérieur 12 de la première cavité 11 par l'intermédiaire d'espaceurs 39, préférentiellement réalisés dans un matériau semi-conducteur.

10 Par ailleurs, et encore comme illustré sur la figure 2, on peut prévoir "au-dessus" du miroir partiel supérieur 18 de la seconde cavité 17, un filtre additionnel 40 constitué, par exemple, d'une succession de couches de silicium et de dioxyde de silicium (Si/SiO<sub>2</sub>) déposées après l'épitaxie du reste de la structure. Ce filtre additionnel peut être utilisé pour optimiser finement  
15 la fonction de transfert optique du dispositif.

Pour réaliser un dispositif du type de celui illustré sur la figure 2, on démarre initialement d'un substrat, par exemple en InP, qui définit la première cavité épaisse, puis on fait croître par épitaxie les différentes couches semi-conductrices (qui constitueront finalement les lames des  
20 miroirs et les espaceurs), par exemple en InP et InGaAs. On réalise ensuite le miroir partiel inférieur 13, ainsi qu'éventuellement le filtre additionnel 40, lorsque ceux-ci sont réalisés différemment des autres miroirs, par exemple par le dépôt d'alternances de type Si/SiO<sub>2</sub>. On effectue alors une délimitation latérale par une gravure verticale qui détermine les dimensions  
25 et la forme latérale des différentes couches du dispositif, puis, on réalise une gravure sacrificielle des couches d'InGaAs, qui n'affecte pas les couches d'InP, pour délimiter les espaceurs.

Dans l'exemple illustré, le substrat est dopé N, respectivement P, toutes les couches du miroir partiel supérieur 18 et tous les espaceurs 28  
30 sont dopés P, respectivement N, tandis que toutes les couches 14 et 29-32

et tous les espaceurs 16, 36, et 39 constituant le miroir partiel inférieur 19, le miroir partiel 12 et la couche de couplage 10 sont dopés N, respectivement P, l'espaceur 37 fixant l'épaisseur de la cavité mince 17 étant non intentionnellement dopé (c'est-à-dire de type I) de manière à former une sous-structure PIN, respectivement NIP, autour de la seconde cavité mince 17.

Bien entendu, le dispositif peut comporter d'autres sous-structures PIN ou NIP comme décrit plus loin.

Comme indiqué en référence à la figure 2, en polarisant en inverse une sous-structure PIN, on peut obtenir un déplacement vertical contrôlé d'une ou plusieurs de ses lames (ou couches) suspendues 20-24 et 29-32, par voie électrostatique. Plus précisément, sous l'effet de la polarisation des différentes couches ou lames, le champ électrique, qui s'établit entre deux lames adjacentes qui délimitent la seconde cavité résonante mince 17, induit une force électrostatique qui rapproche ces deux lames, diminuant ainsi la longueur d'onde du mode résonant de transmission de cette cavité 17.

Des modulations différentes et éventuellement plus complexes de la fonction de transfert du dispositif selon l'invention peuvent être obtenues en modifiant le type de dopage des différentes couches semiconductrices ou en insérant à volonté d'autres lames ou couches de matière, pour constituer d'autres sous-structures de type PIN ou NIP. Par exemple, et en référence à la figure 2 et aux dopages cités précédemment, on peut modifier le dopage des couches 24 et 29 qui délimitent la cavité résonante mince 17 en dopant la couche 24 de type N, respectivement P, et la couche 29 de type P, respectivement N. On laisse aussi l'espaceur 28 entre les couches 24 et 22 et l'espaceur 36 entre les couches 29 et 30 sans dopage intentionnel. On établit ainsi dans le dispositif un empilement en série de trois sous-structures de diodes PIN / NIP / PIN, respectivement NIP / PIN / NIP, du haut en bas de la structure.

En polarisant positivement, respectivement négativement, l'électrode

supérieure par rapport à l'électrode inférieure, les deux sous-structures PIN, respectivement NIP, sont polarisées en direct et la sous-structure NIP, respectivement PIN, est polarisée en inverse, ce qui permet d'appliquer le champ électrostatique entre les deux lames adjacentes 29 et 24 qui délimitent la cavité mince 17 pour rapprocher les deux lames et diminuer la longueur d'onde du mode résonant de transmission. Inversement, en polarisant négativement, respectivement positivement, l'électrode supérieure par rapport à l'électrode inférieure, les deux sous-structures PIN, respectivement NIP, sont polarisées en inverse et la sous structure NIP, respectivement PIN, est polarisée en direct. Le champ électrostatique est donc appliqué à la fois entre les lames 22 et 24 et entre les lames 29 et 30 que l'on pourra ainsi rapprocher avec pour effet d'augmenter l'épaisseur de la cavité mince 17 donc d'augmenter la longueur d'onde du mode de résonance de transmission du dispositif. Cet effet peut être accentué en faisant les couches 22 et 30 plus épaisses que les couches 24 et 29.

Dans le but d'illustrer pratiquement les caractéristiques de la fonction de transfert optique qui est obtenue avec un dispositif selon l'invention, des représentations graphiques de réponses spectrales, obtenues avec un dispositif de filtrage du type de celui illustré sur la figure 2, sont données sur les figures 3 à 5. Cette fonction de transfert correspond à des compositions et épaisseurs qui répondent à la formule indiquée ci-après :

$$O (3H L)^*3 5H 2L 5H 3L (3H L)^*2 3H L 1936H O S O$$

où H correspond à une couche quart d'onde d'InP, L correspond à une couche quart d'onde d'air, S correspond à une couche quart d'onde de silicium (Si), et O correspond à une couche quart d'onde de dioxyde de silicium (SiO<sub>2</sub>).

Ici, la longueur d'onde de référence est  $\lambda_0 = 1550$  nanomètres.

Il ressort de la relation donnée précédemment que la première cavité épaisse 11 présente une épaisseur de  $484 \lambda_0$ , ce qui correspond à un peigne de transmission dont le pas inter-modes est de 200 GHz.

Comme illustré sur la figure 3, on peut constater qu'au repos, c'est-à-dire sans variation de l'épaisseur de la seconde cavité mince 17, le filtre ne transmet qu'une unique longueur d'onde, ici de 1550nm (nanomètres), sélectionnée par la seconde cavité mince 17 parmi la multiplicité des modes  
5 résonants de transmission de la première cavité épaisse 11 (espacés de 200 GHz les uns des autres, soit environ 1,6 nm).

On peut constater également que l'atténuation des modes résonants adjacents au mode sélectionné est meilleure que -20 dB.

Si l'on se réfère maintenant à la figure 4, qui illustre la réponse  
10 spectrale du filtre après réduction, par action électrostatique, de l'épaisseur de sa cavité mince 17 de la valeur  $0,5 \lambda_0$  à la valeur  $0,4855 \lambda_0$ , on voit que le filtre ne sélectionne toujours qu'une unique longueur d'onde, ici centrée sur la valeur 1535 nm, parmi la multiplicité des modes résonants de transmission de la première cavité épaisse 11.

15 La figure 5 illustre la bande-passante du filtre précité. Comme on peut le constater, cette bande-passante est de 0,1 nm à plus ou moins 1 dB, c'est-à-dire 12,5 GHz.

Bien évidemment, le nombre, l'épaisseur et la nature des différentes couches données ci-dessus, à titre d'exemple, n'est absolument pas limitatif.  
20 Une fois connu le principe de l'invention, l'homme de l'art saura déterminer les caractéristiques optimales d'un empilement de couches répondant aux spécifications recherchées en utilisant les techniques de conception et d'optimisation couramment utilisées dans le domaine des couches minces optiques.

25 L'exemple présenté ci-avant, concernait un peigne de pas fréquentiel inter-modes de 200 GHz. Pour des pas inter-modes sensiblement inférieurs, typiquement de l'ordre de 50 GHz, on utilise de préférence une structure du type de celles présentées sur les figures 1 et 2, couplée à un module de décalage de fréquence (non représenté) destiné à décaler de  
30 façon discrète les fréquences du peigne de la première cavité épaisse 11.



Préférentiellement, le module de décalage est agencé pour faire varier la température du dispositif, et notamment celle de sa cavité épaisse 11.

A titre d'exemple, lorsque la cavité épaisse est réalisée en phosphure d'indium (InP), la longueur d'onde effective de cette cavité peut  
5 être modifiée i) par dilatation thermique, avec un coefficient de  $+5.10^{-6}$  /K et  
ii) par la variation de l'indice de réfraction avec un coefficient  $+5,5.10^{-5}$  /K, soit  
au total  $6 \times 10^{-5}$  /K. Pour une longueur d'onde de référence de 1550 nm, une  
variation totale de 1,6 nm (200 GHz) correspond sensiblement à 1/1000 et  
par conséquent nécessite un changement de température d'environ 16  
10 Kelvins (K). Par conséquent, pour passer d'un mode résonant à un mode  
voisin distant de 50 GHz il faut que le module de décalage induise une  
variation de température de l'ordre de 4 Kelvins.

Les moyens qui permettent d'obtenir ce décalage de température, donc de longueur d'onde, peuvent être avantageusement réalisés en  
15 solidarisant le dispositif de filtrage optique suivant l'invention au contact  
thermique d'un dispositif thermoélectrique de régulation de température tel  
que ceux d'usage courant et bien connu pour la stabilisation de température  
des émetteurs de lumière du type laser à semi-conducteur.

Un tel dispositif peut être associé à des moyens de couplage (par  
20 exemple des fibres optiques) destinés à introduire la lumière à traiter et à  
collecter la lumière traitée.

Comme indiqué précédemment, le dispositif selon l'invention comporte de préférence des couches et des espaceurs réalisés dans des  
matériaux semi-conducteurs, et plus préférentiellement dans des matériaux  
25 semi-conducteurs de type III-V, comme par exemple l'arséniure de gallium  
(GaAs), le phosphure d'indium (InP) ou l'InGaAs, ou bien les  
hétérostructures de type InGaAs/InP ou InAlAs/InGaAlAs déposées sur un  
substrat d'InP, ou de type AlAs/GaAs déposées sur un substrat GaAs, ou  
encore de type InGaP/GaAs déposées sur un substrat GaAs.

30 Les matériaux de type III-V présentent des contraintes mécaniques

résiduelles très faibles, mais surtout contrôlées, qui assurent aux lames suspendues une flexibilité relativement importante, indispensable à leurs déplacements électromécaniques.

Dans ce qui précède, il a été question d'exemples de réalisation dans lesquels les couches étaient réalisées dans des matériaux semi-conducteurs, du fait qu'elles étaient préférentiellement obtenues par épitaxie sur un substrat semi-conducteur. Mais, d'autres matériaux peuvent être envisagés. On citera, à titre d'exemples, le silicium cristallin et le silicium polycristallin. Les structures en silicium cristallin peuvent être obtenues à l'aide de technologies de type SOI par attaque des couches de silice ( $\text{SiO}_2$ ), technique plus connue sous son appellation anglaise "smart cut". Plus généralement, tout type de matériau optique peut être envisagé.

Les structures polycristallines peuvent être envisagées, mais la flexibilité des lames n'est pas très bonne du fait du mauvais contrôle des contraintes mécaniques et des possibilités d'absorption de la lumière qui limitent les applications de filtrage.

Bien entendu, ces matériaux ne constituent que des exemples préférentiels.

D'autres fonctions peuvent être envisagées pour d'autres modes de réalisation du dispositif. On citera, à titre d'exemple, la réalisation simultanée avec un seul dispositif des fonctions de filtrage et de commutation en longueur d'onde contrôlées par les tensions de polarisation appliquées aux couches semi-conductrices.

Les dispositifs selon l'invention offrent de nombreux avantages, dans la mesure où ils requièrent de faibles tensions de commande, typiquement une dizaine de volts, et présentent des dimensions réduites permettant leur utilisation dans des composants électroniques à haute intégration, et notamment pour assurer le démultiplexage en longueur d'onde des canaux de certaines installations de télécommunication par voie optique, de type WDM ou DWDM.

Mais bien d'autres applications peuvent être envisagées, comme dans le domaine du contrôle industriel (par exemple dans l'agro-alimentaire), de la microspectrométrie, notamment dans le domaine de l'environnement (détection de transmission ou d'absorption de gaz), ou encore dans le  
5 domaine de l'analyse médicale. D'une manière générale, le dispositif selon l'invention est particulièrement adapté aux traitements optiques des signaux.

L'invention ne se limite pas aux modes de réalisation de dispositif décrits ci-avant, seulement à titre d'exemple, mais elle englobe toutes les variantes que pourra envisager l'homme de l'art dans le cadre des  
10 revendications ci-après.

## REVENDICATIONS

1. Dispositif optoélectronique, caractérisé en ce qu'il comprend des premiers moyens (1,3,4;12,13) définissant une première  
5 cavité résonante (1;11) d'une épaisseur et d'une composition choisies de manière à présenter une multiplicité de modes résonants de transmission sur une plage de longueurs d'onde choisie, des seconds moyens (7-9;18,19,37) définissant une seconde cavité résonante (6;17) d'une épaisseur et d'une composition choisies de manière à présenter un unique mode résonant de  
10 transmission sur ladite plage choisie, des moyens de couplage optique desdits premiers et seconds moyens, et des moyens électrostatiques agencés pour appliquer auxdits seconds moyens (7-9;18,19,37) une tension électrique choisie de manière à faire varier l'épaisseur de la seconde cavité (6;17) et la position spectrale du mode résonant associé de sorte qu'il  
15 coïncide avec l'un quelconque des modes résonants de la première cavité (1;11) pour réaliser un filtre à deux cavités résonantes couplées optiquement.
2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'épaisseur et la composition de la première cavité (1;11) sont choisies de  
20 sorte que ladite multiplicité de modes résonants de transmission définisse un peigne de pas inter-modes choisi.
3. Dispositif selon l'une des revendications 1 et 2, caractérisé en ce qu'une partie au moins des premiers (1,3,4;12,13) et seconds (7-9;18,19,37) moyens sont composés de matériaux semi-conducteurs.
- 25 4. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que les premiers moyens (1,3,4;12,13) comprennent deux réflecteurs partiels (3,4;12,13), sensiblement parallèles, espacés l'un de l'autre par une première couche de matière d'une épaisseur définissant la position des modes résonants de la première cavité (1;11), et assurant la résonance de  
30 cette première cavité.

5. Dispositif selon la revendication 4, caractérisé en ce que ladite couche de matière est une couche de matériau semi-conducteur comportant deux faces (2,3) sensiblement parallèles et solidarisées respectivement auxdits réflecteurs partiels (4,3).

5 6. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que les seconds moyens (7-9;18,19,37) comprennent au moins deux réflecteurs partiels (7,8;18,19), sensiblement parallèles, espacés l'un de l'autre par une seconde couche de matière d'une épaisseur définissant la position du mode résonant de la seconde cavité (6 ;17), et assurant la  
10 résonance de cette seconde cavité.

7. Dispositif selon la revendication 6, caractérisé en ce que ladite couche de matière est une lame d'air, les réflecteurs partiels (7,8;18,19) étant espacés l'un de l'autre par des espaceurs (9 ;37).

8. Dispositif selon l'une des revendications 4 à 7, caractérisé en  
15 ce que lesdits réflecteurs partiels (7,8;18,19), sont des réflecteurs de Bragg constitués d'alternances de type quart d'onde de deux matériaux d'indices de réfraction différents.

9. Dispositif selon la revendication 8, caractérisé en ce que certains au moins desdits réflecteurs de Bragg (13) sont constitués  
20 d'alternances de couches de Silicium et d'Oxyde de Silicium.

10. Dispositif selon l'une des revendications 8 et 9, caractérisé en ce que certains au moins desdits réflecteurs de Bragg (12,18,19) sont constitués d'au moins une alternance de couches d'air et de semi-conducteur, lesdites couches de semi-conducteur étant espacées les unes  
25 des autres par des espaceurs semi-conducteurs (16,28,36).

11. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que les moyens de couplage optique comprennent des troisièmes moyens (10 ;38,39) interposés entre les premiers et les seconds moyens et présentant des dimensions choisies de manière à assurer un couplage  
30 optique entre lesdites première (1 ;11) et seconde (6 ;17) cavités.



12. Dispositif selon la revendication 11, caractérisé en ce que lesdits troisièmes moyens (10) comprennent une couche de matière (10) placée entre deux réflecteurs (4,8) appartenant respectivement aux premiers et aux seconds moyens.

5 13. Dispositif selon la revendication 12, caractérisé en ce que lesdits troisièmes moyens (38,39) comprennent une couche d'air (38) placée entre deux réflecteurs (12,19) appartenant respectivement aux premiers et aux seconds moyens, lesdits réflecteurs étant espacés l'un de l'autre par des espaceurs (39).

10 14. Dispositif selon l'une des revendications 4 à 13, caractérisé en ce que lesdits moyens électrostatiques comprennent une première électrode et une seconde électrode chacune au contact d'un réflecteur partiel des premiers moyens et propres à être placées à des potentiels différents choisis de manière à faire varier l'épaisseur de la cavité d'air située entre lesdits  
15 réflecteurs partiels.

15 15. Dispositif selon la revendication 14, caractérisé en ce que les seconds moyens (7-9 ;18,19,37) définissent au moins une sous-structure de type jonction PIN ou NIP, respectivement polarisée en inverse ou en direct par lesdites première et seconde électrodes, l'un des réflecteurs comprenant  
20 des couches semi-conductrices présentant un dopage de type N, l'autre réflecteur comprenant des couches semi-conductrices présentant un dopage de type P, et les espaceurs (9 ;37) délimitant la seconde cavité (6 ;17) étant non intentionnellement dopés de type I.

25 16. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 15, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens de décalage de fréquence de la multiplicité de modes résonants de transmission des premiers moyens.

30 17. Dispositif selon la revendication 16, caractérisé en ce que les moyens de décalage de fréquence sont agencés pour faire varier la température d'au moins lesdits premiers moyens (1,3,4 ;12,13), de façon contrôlée.

18. Dispositif selon l'une des revendications 4 à 17, caractérisé en ce que les couches semiconductrices sont réalisées dans des matériaux de type III-V, en particulier arséniure de gallium (GaAs) ou en en phosphore d'indium (InP), et en ce que les espaceurs sont réalisés dans des matériaux  
5 de type III-V, en particulier en InGaAs.

19. Dispositif selon l'une des revendications 3 à 18, caractérisé en ce que lesdites couches semiconductrices et lesdits espaceurs sont réalisés par des techniques d'épitaxie et d'attaque chimique sélective.





2/2

FIG. 3

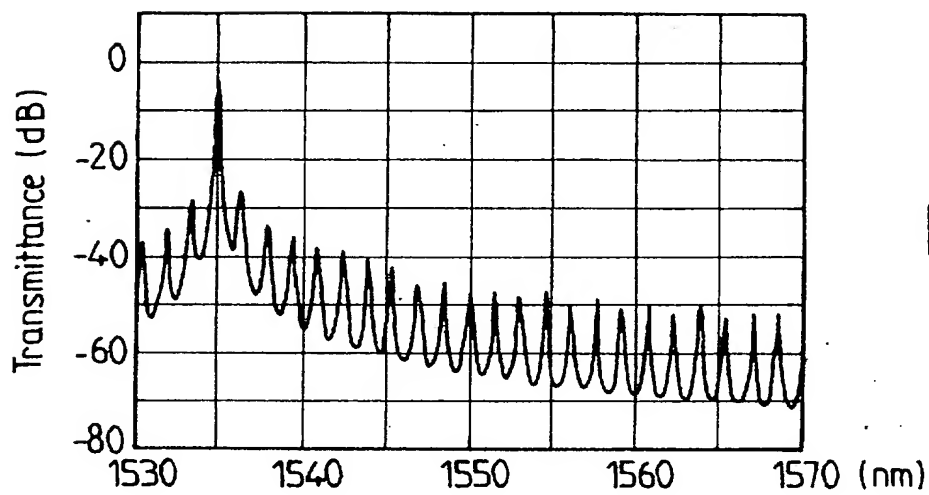
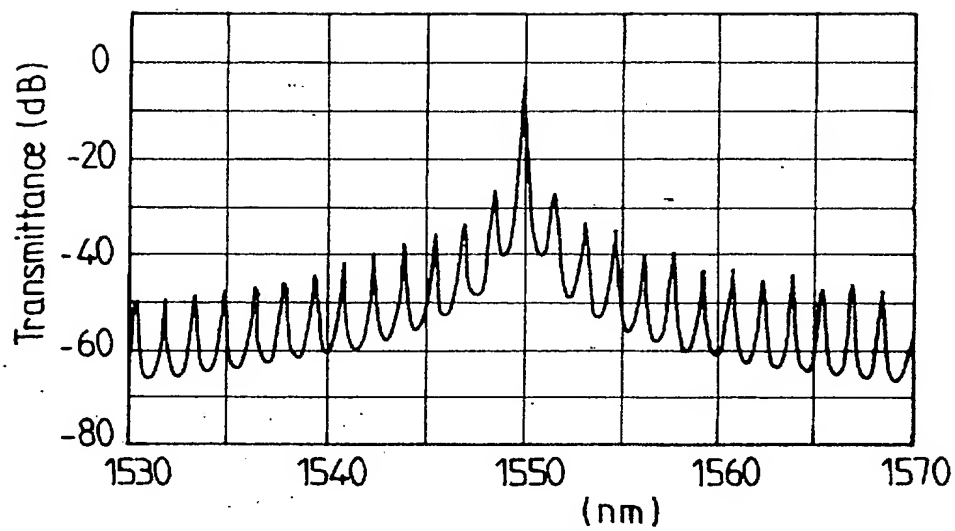
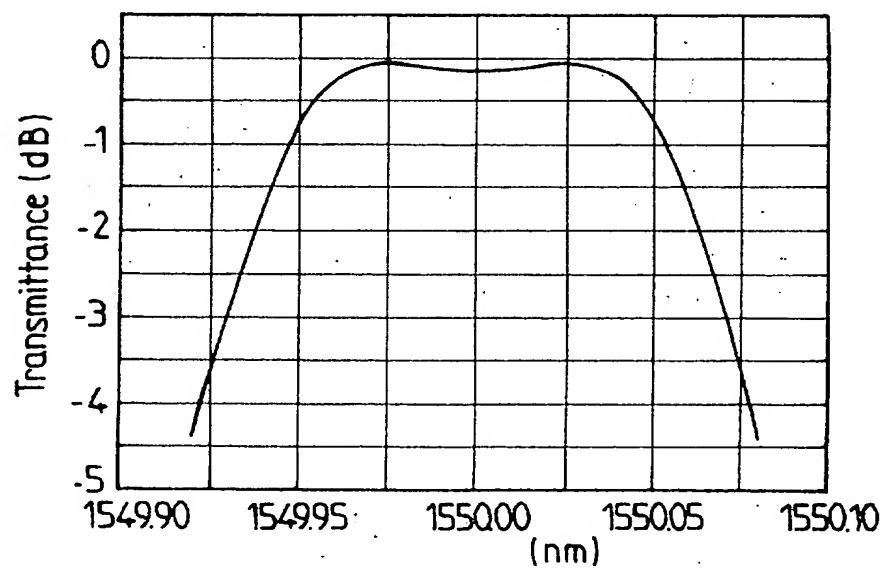


FIG. 4

FIG. 5





DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

**BREVET D'INVENTION****CERTIFICAT D'UTILITÉ**

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1. / 1.

(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur).

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 W / 260899

<b>Vos références pour ce dossier</b> (facultatif)		B4755-LBi	
<b>N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL</b>		0101520	
<b>TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)</b> DISPOSITIF OPTOELECTRONIQUE A FILTRAGE DE LONGUEUR D'ONDE PAR COUPLAGE DE CAVITES.			
<b>LE(S) DEMANDEUR(S) :</b> 1) CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE 2) ECOLE CENTRALE DE LYON  Représentés par : ERNEST GUTMANN-YVES PLASSERAUD S.A 3 rue Chauveau-Lagarde 75008 PARIS			
<b>DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) : (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).</b>			
Nom		VIKTOROVITCH	
Prénoms		Pierre	
Adresse	Rue	18 avenue Gambetta	
	Code postal et ville	69160	TASSIN LA DEMI-LUNE
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom		GARRIGUES	
Prénoms		Michel	
Adresse	Rue	15 rue des Alouettes	
	Code postal et ville	69890	LA TOUR DE SALVAGNY
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom		LECLERCQ	
Prénoms		Jean-Louis	
Adresse	Rue	"Le Consard"	
	Code postal et ville	69480	MORANCE
Société d'appartenance (facultatif)			
<b>DATE ET SIGNATURE(S)</b> <b>DU (DES) DEMANDEUR(S)</b> <b>OU DU MANDATAIRE</b> (Nom et qualité du signataire) DESAIX Anne CPI N° 93.3006			